

VŠB – technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

System diagnostiky a údržby čerpadel

The System of Diagnostics and Maintenance of Pumps

Student:

Dalibor Osmančík

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2012



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užití (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užit své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů ( zákon o vysokých školách ), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....

podpis

Dalibor Osmančík

Bernartice č. 73

790 57

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

OSMANČÍK, D. *Systém diagnostiky a údržby čerpadel: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 44 s. vedoucí práce: Helebrant, F.

Bakalářská práce se zabývá návrhem systému provozní diagnostiky a údržby horizontálního vícestupňového čerpadla. K tomuto je využito multiparametrického systému, ve kterém se využívá především sledování výkonových parametrů, velikostí vibrací, vyzařování tepelné energie a degradace oleje.

## ANNOTATION BACCALAUREATE WORK

OSMANČÍK, D. *System of Diagnostics and Maintenance of pumps.: baccalaureate study*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2012, 44 pages. leadership: Helebrant, F.

This baccalaureate study deals with the operating system diagnostics and maintenance of horizontal multi-stage pumps. This is used Multiparameter system that is primarily used the monitoring performance parameters, vibration magnitude, radiation of heat and oil degradation.

## Obsah

1	Úvod.....	8
2	Popis čerpadla .....	9
2.1	Označení a parametry čerpadla.....	9
2.2	Uložení rotoru čerpadla .....	10
2.3	Spojení čerpadla s elektromotorem.....	11
3	Současné trendy v diagnostice čerpadel.....	12
3.1	Diagnostika měřením výkonových parametrů.....	12
3.2	Diagnostika ložisek.....	13
3.3	Diagnostika lopatkového kola .....	17
3.4	Diagnostika ucpávky.....	22
3.5	Ustavení čerpadla.....	22
4	Návrh systému diagnostiky na dané čerpadlo .....	26
4.1	Použití měření vibrací .....	26
4.2	Použití měření teploty .....	33
4.3	Použití tribodiagnostiky.....	33
5	Provedení provozního měření .....	35
6	Návrh systému údržby.....	38
7	Závěr .....	42
8	Přílohy .....	44

## Seznam použitého značení

RPM otáčky za minutu

BPFI závada na vnitřním kroužku

BPFO závada na vnějším kroužku

BSF závada na ložiskových tělískách

MIMOSA konvence pro označování míst měření vibrací

Značka	Veličina	Jednotka
i	počet lopatek oběžného kola	l
m	počet valivých elementů	l
t	teplota	°C
$\nu$	kinematická viskozita	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Q	průtok	$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ , $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$
H	dopravní výška	m
Y	měrná energie	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
P	výkon, příkon	W, kW
$P_v$	výtlačný výkon	W, kW
p	tlak	Pa, MPa
$\eta$	účinnost	%
$\rho$	hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$f_o$	otáčková frekvence	Hz
$f_L$	lopatková frekvence	Hz
$B_d$	průměr valivého elementu	mm
$P_d$	střední průměr	mm
$\varphi$	kontaktní úhel	°

# 1 Úvod

Úloha diagnostiky a údržby je dnes nezpochybnitelná. Podniky jsou nuceny hledat cesty k co nejvyšší optimalizaci a snižování nákladů. Tyto kroky vedou ke snaze určovat aktuální stav strojů, aby se zamezilo neplánovaným odstávkám v době, kdy má stroj vydělávat nejvíce peněz. Dále je snaha měnit drahé náhradní díly až v případě nutnosti a před koncem životnosti, nebo také odhalit vznikající závadu a včas vyměnit vadný díl dříve než dojde k havárii stroje a tím zvýšení nákladů na opravu. Je nutné rozumně zhodnotit, zda-li vynaložené náklady na údržbu jsou adekvátní s ušetřenými náklady. Všechny tyto kroky vedou k prodloužení životnosti, bezporuchového provozu a provádění údržeb v době nejmenšího využití stroje.

Cílem bakalářské práce je navrhnout optimální systém diagnostiky a údržby pro horizontální vícestupňové hydrodynamické čerpadlo tak, aby bylo možno sledovat skutečný stav důležitých dílů čerpadla a vyhnout se neplánovaným odstávkám, které by znamenaly zvýšení nákladů na provoz.



## 2 Popis čerpadla

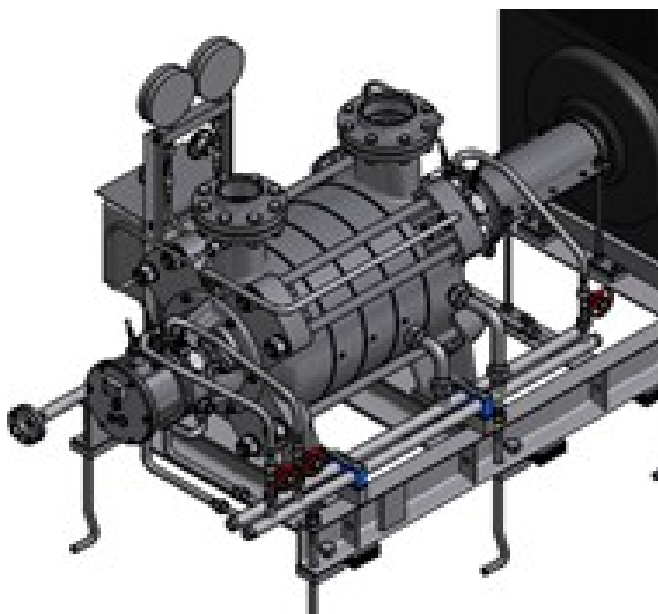
Čerpadlo je horizontální odstředivé článkové s tlakovými stupni uspořádanými v řadě. Oběžná kola jsou vybavena odlehčovacími otvory pro snížení axiálního tlaku. Čerpadlo má 4 stupně a rotační pohyb je zajišťován ve třech kuličkových ložiskách. Toto čerpadlo je určeno pro čerpání vody o maximální teplotě 85 °C.

### 2.1 Označení a parametry čerpadla

Čerpadlo je typu 100-CVZ-325-14-4-RU-000. Projektovaná technická životnost čerpadla je 120 000 provozních hodin a uvažují se 3-4 generální opravy. Hladina akustického výkonu nekrytého čerpadla by se měla pohybovat do 82 dB ve vzdálenosti 1 m od stroje. Hmotnost čerpadla včetně základové desky a pomocného potrubí činí 1500 kg.

**Tabulka 1: Označení čerpadla**

100	CVZ	325	14	4	RU	000
jmenovitá světlost v mm	Typové označení čerpadla	Vnější průměr kola v mm	Šířka výstupního Kanálu oběžného kola v mm	Počet stupňů	Materiálové provedení	Změnové číslo konstrukčního provedení



**Obrázek 1: Pohled na čerpadlo**

## **2.2 Uložení rotoru čerpadla**

Rotor čerpadla je uložen ve třech ložiskách. Tyto ložiska jsou mazána olejem, který je dodáván dle teploty čerpané kapaliny. Uložení je provedeno na jednom dvouřadém kuličkovém ložisku ze strany sání a na druhém stejného typu ze strany výtlačku. Tyto ložiska zachytávají radiální síly a jsou zabudována v ložiskových tělesech tak, aby umožňovaly axiální posuv rotoru. Je použito i třetího ložiska na zachycení axiálních sil a toto ložisko se nachází na okraji hřídele výtlačné části.

Pro mazání ložisek se uvažuje olej Mogul TB 32S. Pro čerpadlo je množství náplně 2 litry. Výměna oleje se má dle pokynů poprvé provést po 200 hodinách a následující výměny se mají provádět po 2000 hodinách. Je možno použít i náhrady za olej mogul, které jsou doporučeny dodavatelem.

Z hlediska způsobu chlazení existují dvě provedení ložisek:

- Ložiska chlazená chladicí vodou teploty do 30 °C, pokud je teplota čerpané kapaliny nad 35 °C.
- Ložiska chlazená vlastní čerpanou kapalinou dodávanou z 1. stupně čerpadla k chladícím komorám ložisek a odváděnou do sacího prostoru čerpadla, pokud je teplota čerpané kapaliny do 35 °C.

V čerpadle jsou použita následující ložiska:

- radiální ložisko pro sání a výtlač je ZKL 1310
- axiální ložisko výtlaču je SKF 3311

Pro utěsnění rotoru je použito provazcové ucpávky typu SIGMAPACK UNI 12x12

**Tabulka 2: Použité materiály na čerpadle**

součást	materiál
sací těleso	422712.5
výtlačné těleso	422712.5
těleso článku	422906.5
oběžná kola	422906.5
hřídel	17134.6
ucpávková pouzdra	17029.4
ložisková tělesa	11373.1

## 2.3 Spojení čerpadla s elektromotorem

Spojení čerpadla s elektromotorem je realizováno membránovou pružnou spojkou řady John Crane Flexibox typu TSK. Tato spojka je schopná přizpůsobit se nevyhnutelným axiálním, paralelním a úhlovým výchylkám.

**Tabulka 3: Parametry spojky**

Velikost spojky	Max. paralelní vyosení (mm)	Maximální úhlové vyosení (°)	Maximální axiální posun (mm)
TSKS-0075-0178-1400	± 0.81	1/2°	± 1.5

## 3 Současné trendy v diagnostice čerpadel

### 3.1 Diagnostika měřením výkonových parametrů

Mezi základní výkonové parametry čerpadla patří průtok  $Q$  (objemový nebo hmotnostní), měrná energie  $Y$ , resp. dopravní výška  $H$ , příkon čerpadla  $P$  a také účinnost  $\eta$ . Tyto parametry tvoří charakteristiku čerpadla a při změně některého z nich mohou informovat o zhoršeném stavu.

#### Měření průtoku

**Průtok  $Q$**  [ $\text{l.s}^{-1}$ ,  $\text{m}^3.\text{hod}^{-1}$ ,  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $\text{kg.s}^{-1}$ ] je množství (objemové nebo hmotnostní) kapaliny vytlačené čerpadlem za jednotku času. Průtok závisí na otáčkách čerpadla a viskozitě čerpané kapaliny. Je to základní výpočtový údaj.

#### Měření měrné energie

**Měrná energie  $Y$**  [ $\text{J.kg}^{-1}$ ,  $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ] je přenesená energie připadající na jednotku hmotnosti čerpané kapaliny. Výpočtový vztah:

$$Y = H \cdot g \quad [3.1]$$

kde  $H$  [m] je **dopravní výška**, do které je čerpadlo schopno čerpat a  $g$  [ $\text{m.s}^{-2}$ ] je **gravitační zrychlení**

#### Měření příkonu

**Příkon  $P$**  [W] je poměr mezi výtlačným výkonem  $P_v$  a účinností  $\eta$ .

$$P = \frac{P_v}{\eta} = \frac{Q \cdot Y}{\eta} \quad [3.2]$$

## 3.2 Diagnostika ložisek

Správná funkce ložisek, je středem zájmu při diagnostice čerpadla. Jednak ložiska zajišťují optimální pohyb rotačních částí, ale přenáší se přes ně také namáhání, které vzniká závadami na jiných částech zařízení. Pro bezporuchovou funkci ložiska je potřeba zajistit správné mazivo, které může být tukové nebo olejové, záleží na konstrukci čerpadla. Je také důležité dodržet optimální interval výměny maziva v závislosti na jeho degradaci. U valivého ložiska je potřeba, aby bylo zajištěno dokonalé odvalování a nedocházelo ke kluzu valivých elementů, který by způsoboval opotřebování ložiska. Také je důležité mít správně ustavené čerpadlo vůči elektromotoru (viz. kapitola níže). Při opotřebení ložiska se na povrchu drah a valivých elementech objevuje hladký otěr, dolíčkové opotřebení (pitting) při povrchové únavě, abraze a rýhy při přítomnosti nečistot.

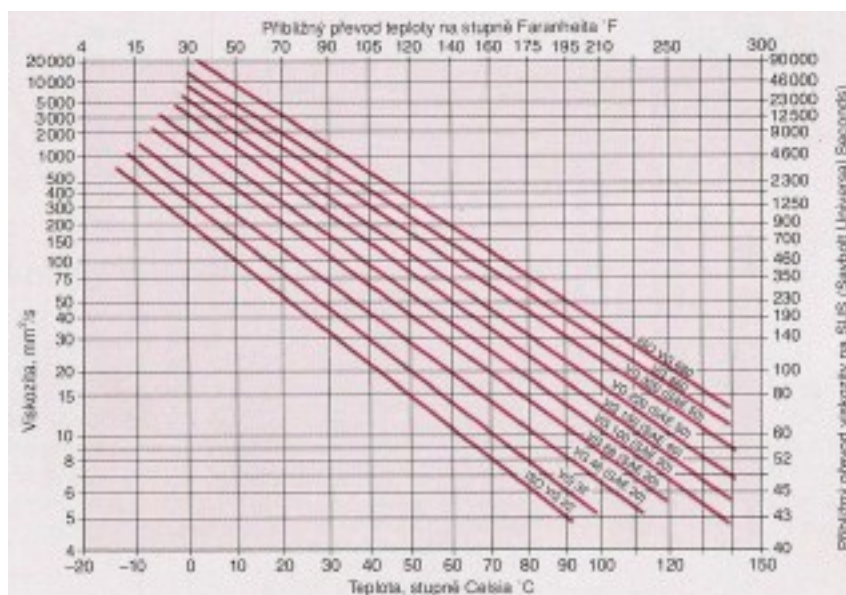
Pro diagnostikování ložiska je možno použít několik metod a je dobré tyto metody kombinovat, to znamená používat multiparametrický systém diagnostiky.

### Diagnostika analýzou oleje

Tribodiagnostika slouží ke zjištění aktuální kvality oleje, tzv. degradaci mazacího média, a dále se zkoumá míra opotřebení strojních součástí rozбором nečistot v oleji. Kvalitní mazivo zajišťuje, aby bylo sníženo tření mezi navzájem se pohybujícími plochami a tím byla snížena velikost opotřebení na minimum. Dále také chrání součásti, se kterými je ve styku, proti korozi. Při zjišťování degradace oleje se využívá zjišťování určitých vlastností, které dávají informaci o tom, jak moc je olej ještě schopen plnit požadovanou funkci.

#### Viskozita

Viskozita je nejdůležitější vlastností oleje, která udává míru vnitřního tření mezi jednotlivými molekulárními vrstvami v mazivu a má zásadní vliv na zatékání oleje mezi mazané části. Viskozitu dělíme na dynamickou a kinematickou. Pro hodnocení maziva se sleduje dynamická  $\nu$  ( $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). U oleje je důležitým parametrem viskozitní index VI, který informuje o závislosti viskozity na teplotě. Pro použití u valivých ložisek se vyžaduje viskozitní index oleje s hodnotou VI 85 a vyšší.



**Obrázek 2: Závislost viskozity na teplotě**

### Číslo kyselosti

Číslo kyselosti dává informaci o stárnutí oleje, takže je potřeba tomuto údaji věnovat pozornost. Vyšší kyselost má za následek zvýšení korozivnosti oleje. U hodnocení se určují dvě hodnoty. Číslo celkové alkality TBN a číslo celkové kyselosti TAN.

### Obsah vody

Přítomnost vody v mazacím oleji způsobuje korozi, vypadávání aditivů, pění oleje, tvorbu emulze, zvyšování viskozity, snižování oxidační stability oleje, tvorbu kalů. Tímto je zřejmé, že voda je v oleji nežádoucí a všeobecně platí, že přípustná hodnota obsahu vody je do max. 0,2% hmotnostního obsahu vody. Rozbor se provádí ve dvou etapách. V první etapě se zjišťuje voda kvalitativně (jestli je v oleji přítomna) a v druhé etapě kvantitativně (jaké množství vody je přítomno).

### Obsah aditiv

Aditiva jsou v mazivu za účelem udržení požadujících vlastností, zvýšení kvality oleje a prodloužení jeho životnosti.

Aditiva se rozdělují na:

- 1) ochranná – mají funkci jednak proti stárnutí oleje (antioxidanty) a také jsou tam zahrnutá aditiva na snížení pění.
- 2) s povrchovým účinkem – do této kategorie spadají protikoroziční přísady (inhibitory koroze), dále to jsou přísady proti opotřebením otěrem a v neposlední řadě detergentní a disperzentní přísady
- 3) zlepšující – do této kategorie patří zejména biocidy, které mají za úkol potlačovat vznik škodlivých organismů.

## **Vibrodiagnostika**

Pohyb rotačních strojů sebou nese vznik mechanického vlnění. Mechanické vlnění vyvolává vibraci, která se přenáší přes jednotlivé části stroje a na vhodných místech je možno měřit velikost celkových vibrací. Výsledky dávají informaci o výskytu poruch v zařízení. Charakter vibrací závisí na druhu působící síly, která může být:

- Periodická budící síla
- Impulsní síla
- Budící síla náhodného průběhu

Vibrační diagnostika je vhodná na odhalení většiny závad. U čerpadel je to základní diagnostická metoda. Při měření vibrací se můžou měřit tři veličiny:

- Výchylka vibrací
- Rychlost vibrací
- Zrychlení vibrací

Vibrace z rotorové části čerpadla se přenášejí přes ložiska na statorovou část. V těchto místech je vhodné provádět měření, z kterého získáme hodnoty celkové vibrace sledovaného stroje.

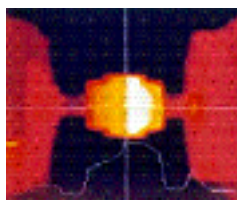
## Termodiagnostika

Slouží k získání údajů o zahřívání a tím o zvýšeném namáhání ložiska. Odhalení závady může upozornit například na nesouosost, velkou axiální sílu na rotoru čerpadla způsobenou nevhodným průtokem kapaliny a na problémy s mazivem. Rozdělení metod měření teploty:

**Kontaktní měření teploty** – provádí se přiložením měřicího snímače na měřený povrch a provede se odečet hodnoty. Zásadní předpoklad pro správné měření kontaktními teploměry je volba vhodného místa pro umístění snímače. Místo by mělo umožňovat snadnou montáž a demontáž snímače a měl by být zajištěn co největší přestup tepla z měřeného objektu do snímače namísto úniku do prostředí.

**Bezkontaktní měření teploty** – pro měření se používají pyrometry, které snímají teplotu z míst, kde není možné použít kontaktní teploměry (např. rotační součásti). Princip měření spočívá ve snímání elektromagnetického záření, které vysílá měřený objekt. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 2  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$  se nazývá tepelné záření. Nevýhodou bezkontaktního měření je chybovost měření z důvodů špatného nastavení měřicího přístroje kvůli neznalosti správné hodnoty emisivity povrchu tělesa, hodnoty prostupnosti tepla mezi čidlem a objektem a nepřesné korekci parazitního odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt.

**Termografie** – zobrazuje a vyhodnocuje teplotní pole (tzv. termogram) povrchu měřeného objektu. Snímá se infračervená oblast elektromagnetického záření. Dělí se na pasivní a aktivní. Nejvíce používaná je pasivní termografie, jejím principem je snímání a zobrazování teplotních polí například mechanických strojů, u kterých se jejich činností vyvíjí teplo. Tím se může zjistit, která část mechanického objektu je zdrojem největšího tepla a zjistit okamžitou teplotu v konkrétním místě.



**Obrázek 3: Detekce nesouososti na spojce**



V současné době jsou měřicí přístroje pro snímání teploty v relativně dobré cenové hladině, takže je na místě uvažovat o pořízení i termovizní kamery .

### **3.3 Diagnostika lopatkového kola**

Lopatková kola mohou být postižena několika závadami. Může vznikat nevyváha a poškození zapříčiněné nepravidelným opotřebením tělesa, úlomky lopatek vlivem střetu s unášenými kousky nečistot v čerpané kapalině a v neposlední řadě přítomností kavitace.

#### **Kavitace**

Kavitace představuje fyzikální jev, který se projevuje vznikem, vývojem a zánikem kavitačních dutin v kapalině.

Dělení kavitačních oblastí:

1. Dle tvaru:

- kapsovitá kavitace
- vláknová kavitace (spárová)

2. Dle místa výskytu:

- uvnitř proudu kapaliny
- v blízkosti obtékané plochy
- na povrchu obtékané plochy

3. Dle stability:

- v prostoru
- v čase a ta se dále rozděluje na:
  - kavitace stálá (prostorová i časová pravidelnost)
  - kavitace nestálá (prostorová i časová nepravidelnost)

Tento jev je typický v situacích, kdy tlak v určitých místech kapaliny poklesne pod určitou úroveň. Tato úroveň je dána tlakem nasycených par čerpané kapaliny, obsahem plynů

a pevných částic v kapalině a ostatními vlivy. V takovém místě dochází ke vzniku dutin, naplněných párou čerpané kapaliny, které jsou unášeny proudem kapaliny do oblasti s větším tlakem, kde implozí zanikají. Imploze vytváří rázové vlny, které mají destruktivní účinek na okolní materiál, který vlivem vytržení a následného unášení dále v potrubním systému může znehodnotit čerpanou kapalinu. Tlakové vlny při implozi dosahují vysokých amplitud a rychlostí, jejichž důsledkem může být vnitřní narušení povrchu čerpadla. Nejčastější příčinou vzniku kavitace v čerpadle je nedostatečný statický tlak ve vstupním profilu čerpadla.

V provozu čerpadlových systémů se nejčastěji s kavitací setkáváme u hydrodynamických čerpadel, a to zejména v oblasti:

- prostoru vstupu kapaliny do čerpadla
- vstupu kapaliny do oběžného kola
- vstupní i výstupní části lopatek oběžného kola
- vstupní části lopatek hydraulických kolektorů

Nepříznivé vlivy kavitace na provoz čerpadla, se mohou projevat v:

- narušování povrchů
- hlučnosti
- vibraci čerpadla
- narušování čerpací schopnosti čerpadla
- pokles účinnosti čerpadla
- jeho větší celkové opotřebení...

V interiéru čerpadel je za kavitační děj považován spontánní vznik mikrokaverny, v čerpané kapalině, naplněné paroplynnou směsí. Takto vzniklá mikrokaverna, se ve svém okolí shlukuje s ostatními, což vede ke vzniku kavitační kaverny větších rozměrů. Doba života mikrokaverny uvnitř kaverny je krátká, k zániku dochází formou imploze, která v okolí zániku mikrokaverny vyvolá mohutný tlakový impuls. Imploze v blízkosti proudového pole (jejichž hranice tvoří povrchy ocelových pracovních lopatek oběžných kol i statorů čerpadel vede povrchy otočných škrťících částí klapek potrubních systém atd.) vedou k vytrhávání materiálu z povrchu hranice. Kavitační narušení těchto povrchů se vyznačuje

mohutnou drsností. Může však docházet k proděravění odpovídajících částí čerpadel, armatur a potrubních systémů a to v případě, pokud jsou tyto povrchy vystaveny kavitačním účinkům po delší dobu. Podmínkou vzniku kavitačních kaveren je tlak, teplota čerpané kapaliny a množství plynů obsažených v kapalině. Vznikají uvnitř proudového pole kapaliny bez kontaktu s kovovými částmi čerpadel, uvnitř pracovních kanálů oběžných kol a rozvaděčů jako kaverny přilehlé k příslušným lopatkám.

V čerpadlech rozlišujeme následující dva stupně kavitace:

I. stupeň takzvaný „Počáteční kavitační režim“ projevující se malým poklesem dopravní výšky

II. stupeň takzvaný „Kritický režim“ projevující se silným poklesem dopravní výšky



**Obrázek 4: Důsledek kavitace**

Působení kavitace na činnost čerpadla se zjišťuje prostřednictvím kavitační zkoušky, prováděné na hydraulickém systému, která umožňuje nasimulovat různé provozní stavy čerpadla a zároveň umožňuje i regulaci čisté sací výšky čerpadla  $D_h$ . V anglické literatuře se můžeme setkat s označením  $D_h$  jako NPSH – net positive suction head, což znamená pokles tlakové energie v sací části čerpadla, daný výškou vodního sloupce.

$$D_h = (p_1 - p_v)/\rho g \quad [3.3]$$

$D_h$  – rezerva tlaku v sacím potrubí čerpadla oproti nasycených par čerpané kapaliny

$p_1$  – absolutní tlak v sacím hrdle čerpadla

$p_v$  - tlak nasycených par čerpané kapaliny

$r$  – hustota čerpané kapaliny

$g$  - tíhové zrychlení

Cílem kavitační zkoušky je určení  $H = f(D_h, Q, W)$ . Při měření od maximální hodnoty čisté sací výšky se pokoušíme o to, aby bylo čerpané množství konstantní, a zjišťujeme dopravní výšku.

Při zmenšování  $D_h$  začne v čerpadle vznikat kavitace. V době, kdy kavitace dosáhne určitého rozsahu, začne klesat velikost  $H$ . V případě, že dojde k poklesu  $H$  z původní počáteční hodnoty až o 3%, označujeme tuto hodnotu  $D_h$  za kritickou. Následující pokles  $D_h$  vede k rychle klesající měrné energii, což vede k zapáření čerpadla.

### **Detekce kavitace**

Kavitaci lze detekovat prostřednictvím podmínek v systému, které zapříčiňují vznik kavitace. K přiblížení této metody uvádím příklad metody, při které se hodnota  $D_h$  čerpadla porovnává s odhadem hodnoty bodu počátku kavitace ( $D_{hi}$ ), pro určitý pracovní bod čerpadla. Výsledkem je model závislosti  $D_{hi}' = f(Q, W)$ . Tato metoda má však řadu nevýhod, mezi které patří nutnost znalosti dalších veličin (teplota kapaliny,  $Q$ ,  $p_1$ ), potřeba invazivních snímačů, kdy zabudování je zpravidla nákladné a v některých aplikacích z bezpečnostních důvodů nepřípustné. Dále lze kavitaci detekovat pomocí přímých projevů kavitačních implozí. Výhoda této metody závisí na detekci samotné kavitace.

Ochrana před kavitací:

1. Dodržení povolené geodetické sací výšky s ohledem na:

- atmosférický tlak
- teplotu čerpané kapaliny
- tlak nasycených par
- měrnou hustotu čerpané kapaliny

2. utváření sacího vedení tak, aby bylo co nejkratší a mělo minimální ztráty ve vedení
3. Dodržování doporučených průtoků a otáček čerpadlem

Velmi významným detekčním prostředkem je vibrodiagnostika

## **Měření mechanického chvění**

Závady lopatkového kola je schopna detekovat vibrační diagnostika, protože tyto závady změni charakter vibrování stroje a je tedy možno při určitých zkušenostech a určitém způsobu analyzování vibrací detekovat konkrétní závadu.

## **Hluková diagnostika**

Měření zvuku (hluku) v oblasti 20 Hz – 20 kHz je další metoda, kterou je možno zjišťovat závady stroje. Pohybující se stroje produkují kmity, které se přenášejí do okolního prostředí. Toto šíření prostředím se zachycuje pomocí stetoskopu a subjektivně se vyhodnocuje pomocí sluchátek a zkušenosti diagnostika. Zkušené obsluze je toto měření schopno indikovat závady na opotřebeném ložisku, přidírající ucpávce, ale také na přítomnost kavitace, která je pro oběžné kolo nežádoucí.

### **Měření hluku**

Měřenou veličinou je nejčastěji akustický tlak a jeho hladina, které se snímají mikrofonom. Pro hlukovou diagnostiku je nejvhodnější měřicí veličinou intenzita hluku, která se ale nedá měřit přímo, tak se pro měření používá dvoumikrofonní sonda. Díky této sondě lze určit energetické toky akustických zdrojů a tak směry jejich šíření. Pokud se ovšem vyskytuje více zdrojů hluku, je to obtížné. V praxi se používá odstínění rušivých akustických zdrojů.

### 3.4 Diagnostika ucpávky

Ucpávky jsou řešeny jako mechanické nebo šňůrové. Mechanické se používají tam, kde se potřebuje zajistit nulový průsak čerpané kapaliny. Na ucpávkách se snažíme odhalit přidírání hřídele, které má za následek netěsnost ucpávky a únik kapaliny. Příčin pro vznik přidírání může být několik. Jsou to například nesprávně provedené a namontované ucpávky. Pokud se měkké ucpávky utahují nadměru, začnou se zahřívat a dojde k zadření hřídele v ucpávce. Jestliže se ucpávky neproplachují čistou kapalinou při čerpaní kapaliny s abrazivními částicemi, dojde taktéž k zadření. Dále to mohou být nevyváhy a nesouososti hřídele nebo spojky. Při činnosti čerpadla v malých průtocích jsou velké hydraulické ztráty, které vedou k oteplení vnitřní části čerpadla a tím k možnosti poškození ucpávek. V neposlední řadě mohou být příčinou vady v ložiscích. Rozlišujeme dva druhy přidírání. **Úplné kruhové přidírání a částečné přidírání**, ke kterému dochází tehdy, pokud ucpávky v okamžiku dotyku hřídele působí jako další ložisko a pravidelně skokově zvyšují celkovou dynamickou tuhost soustavy.

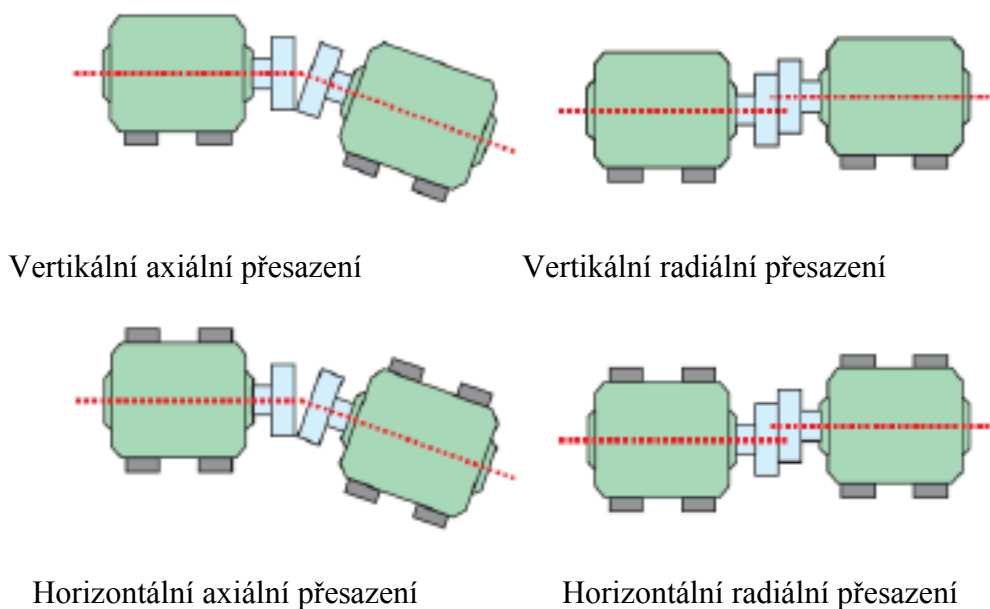
Přidírání ucpávek můžeme detekovat několika způsoby a to:

- Vibrodiagnostikou
- Hlukovou diagnostikou
- Termodiagnostikou - Používají se teplotní čidla, která se upevňují na nehybný kroužek mechanické ucpávky a v případě zvýšené teploty může dávat výstrahu nebo vypnout čerpadlo.

### 3.5 Ustavení čerpadla

Ustavení čerpadla s elektromotorem má zásadní vliv na správnou funkci kompletního strojového celku. Ustavením čerpadla se rozumí, upevnění do takové polohy, kde budou osy hřídelů čerpadla a elektromotoru vůči sobě souosé a to jak radiálně, tak axiálně (úhlově). Nesouosost hřídele čerpadla s hřídelem elektromotoru je často příčinou zvýšeného opotřebení ložisek a ucpávek. Může mít také za následek poškození hřídelové spojky, ve které vzniká

vlivem namáhání vyzařované teplo, jež je možné pomocí termografie odhalit. Vlivem tohoto namáhání dochází k vyšší spotřebě elektrické energie a po ustavení do osy dochází k úspoře až 17 % .



**Obrázek 5: Typy přesazení**

#### **Metody ustavování**

- mechanické metody
  - a) příměrná pravítka
  - b) lístkové spároměrky
  - c) kalibrované kužele
  
- laserové systémy
  - a) jeden laser s jedním nebo dvěma cíli
  - b) dvojice laserů jako reverzní indikátorová metoda

Pro ustavování strojů jsou určeny tolerance podle provozních podmínek stroje. Tyto provozní podmínky mohou být otáčky, účinnost, typ spojky a jiné. Pro zjednodušení je vytvořena tabulka, která bere v úvahu otáčky a podle nich určuje dovolené tolerance.

**Tabulka 4: Běžně akceptovatelné tolerance**

Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Úhlová nesouosost mm/100 mm		Posunutí [mm]	
	výborný	vyhovující	výborný	vyhovující
do 1000	0,06	0,10	0,07	0,13
do 2000	0,05	0,08	0,05	0,10
do 3000	0,04	0,07	0,03	0,07
do 4000	0,03	0,06	0,02	0,04
do 5000	0,02	0,05	0,01	0,03
do 6000	0,01	0,04	pod 0,01	pod 0,03

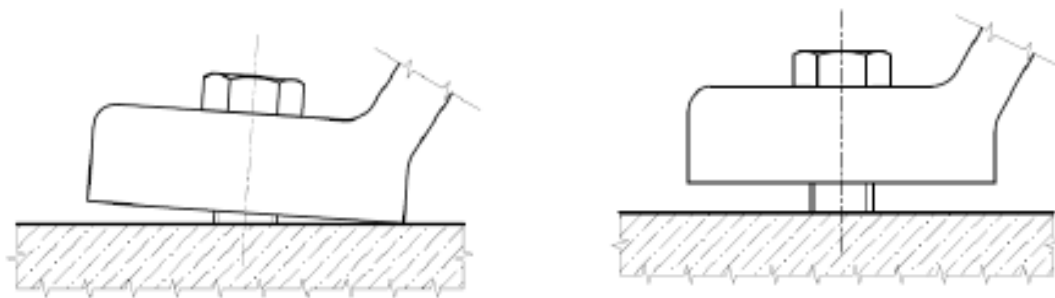
### **Měkká patka**

Je stav, kdy některá patka nedosedá na rám před dotažením šroubů. Patka může být krátká nebo nakloněná. Po dotažení se vyskytnou následující problémy:

- vnitřní nesouosost hřídele a ložiska
- deformaci ložiskového domku
- změny vzduchové mezery v indukčním motoru
- změnu polohy oběžného kola čerpadla vůči skříni
- změnu rezonanční frekvence soustavy

Aby se zamezilo vzniku měkké patky, je doporučována přísná kontrola mezery pod patkami, která nemá být větší než 0,025 mm.





**Obrázek 6: Znázornění nakloněné a krátké patky**

## 4 Návrh systému diagnostiky na dané čerpadlo

Z výše uvedených informací vyplývá, že sledování teploty a vibrací je vhodná varianta pro předcházení havárie čerpadla. Průběžná kontrola těchto parametrů dokáže upozornit na opotřebení ložisek, ucpávek, účinků kavitace, nevyváženost oběžných kol a nesprávné ustavení čerpadla. Pro kontrolu vhodnosti intervalu výměny oleje, by se měl provést zkušební odběr po určité době a tím si vyhodnocením výsledků interval prodloužit nebo zkrátit. Také by se odhalilo, zda nedochází k znehodnocení oleje například pronikáním vody přes těsnící kroužky.

### 4.1 Použití měření vibrací

V první řadě je nutné správně zvolit místa pro měření vibrací u strojů, které nemají tato místa vytvořená od výroby. Poté se přistupuje k měření celkových vibrací. Tyto vibrace se vyhodnocují dle normy a v případě překročení limitních hodnot se přistoupí k podrobné analýze a rozboru celkového spektra vibrací.

#### Umístění snímačů

Obecnou informaci o značení umístění snímačů vibrací, jejich typu a orientace poskytuje konvence MIMOSA uvedená v normě ČSN ISO 13337-1. Správný výběr typu snímače a jeho způsob připevnění do značné míry ovlivňuje výsledky měření. Pro měření vibrací je možno použít tyto snímače:

- Snímače výchylky – snímají relativní výchylky rotující částí vůči nerotující. Používají se také u strojů, kde hmotnost konstrukce je mnohem větší než hmotnost rotoru. Limitní frekvence je přibližně 2000 Hz.
- Snímače rychlosti (valometry) – jsou limitovány svou konstrukcí na frekvence 10 – 1500 Hz.
- Snímače zrychlení (akcelerometry) – Mají nejširší frekvenční rozsah od méně než 1 Hz do 30 000 Hz. Je v současnosti používán jako základní snímač vibrací. Oproti ostatním snímačům má nejméně nevýhod. Z hodnot získaných měřením zrychlení se integrací signálu dá jednoduše zjistit hodnota výchylky nebo rychlosti. Nutnou součástí

akcelerometru je tzv. kalibrační křivka, která dává informaci o citlivosti snímače a frekvenčního rozsahu jeho použitelnosti. Dle konstrukce se používají tři typy akcelerometrů:

1. Smykový – má široký frekvenční rozsah, není náchylný na teplotní vlivy, je odolný, ale má menší citlivost.
2. Tlakový – široký frekvenční rozsah, odolný na rázy, ale náchylný na teplotní vlivy a deformaci základny.
3. Ohybový – měří velmi nízké frekvence a má velmi vysokou citlivost, je ale křehký a citlivý na rázy

Další podmínka, která velmi ovlivňuje výsledky měření je způsob uchycení. Způsob uchycení může být proveden následujícími způsoby:

- Šroubem – je to nejspolehlivější uchycení a velmi málo ovlivňuje výsledky měření. Ovšem nároky na otvor a závit jsou vyšší než u jiných uchycení.
- Lepidlem – pokud je použito vhodné lepidlo a plocha pro nalepení snímače je vhodně upravená, je rovněž toto spojení charakteristické nízkým ovlivněním měření.
- Oboustrannou lepící páskou – je to rychlý způsob připevnění, ale málo spolehlivý
- Magnetem – je to často používaný způsob uchycení, který je charakteristický rychlostí připevnění, ale použitelnost je do frekvenčního rozsahu 2 kHz. Na snímači jsou použité magnety ze vzácných zemin a jejich přitahovací síla je větší než u standardních magnetů.
- Včelím voskem – používá se pro laboratorní podmínky na menší snímače
- Doteková jehla – používá se pro orientační měření do 1 kHz, vyznačuje se malou přesností

Výběr místa pro uchycení snímačů by měl směřovat tam, kde dochází k přenosu sil z rotorové části na statorovou část. Nejčastěji jsou těmito místy ložiskové domky. Pokud tyto místa nejsou vytvořena z výroby, tak se nalepují podložky se závitem pro snímač nebo jsou vytvořeny rovné a čisté plošky pro uchycení snímače pomocí magnetu. Podle potřeby se na jedné měřené oblasti provádějí měření v jednom a až třech směrech a to:

- v horizontálním směru H
- ve vertikálním směru V
- v axiálním směru A

### **Hodnocení celkových vibrací**

Pro detekování závady na stroji se provádí sledování celkových vibrací, které se potom vyhodnocují dle normy ČSN ISO 10816 a hodnotí se celkový stav stroje. Toto hodnocení se provádí na základě dvou kritérií:

#### **I. Velikost vibrací**

Hodnocení je vytvářeno pomocí měření celkové efektivní rychlosti vibrací ve frekvenčním pásmu 10 až 1000 Hz. V normě jsou uvedeny čtyři pásma pro různé hodnoty vibrací a určují, v jakém stavu se nachází stroje s naměřenými vibracemi.

Pásmo A – v tomto pásmu by se měli nacházet nové stroje.

Pásmo B – stroje ležící v tomto pásmu by měli být bez problémů provozovány dále.

Pásmo C – stroje s vibracemi v tomto pásmu by neměly být použity pro dlouhodobý provoz a měla by se plánovat oprava.

Pásmo D – stroje spadající do tohoto pásma mají hodnoty vibrací takové, že mohou poškodit stroj.

Zařazení do těchto pásem má napomoci k rozhodování, co se bude se strojem provádět. To znamená, jestli stroj může do opravy ještě dále pracovat, nebo se musí okamžitě odstavit. Aby se mohly stroje zařazovat do pásem podle velikosti vibrací, je nutné tyto stroje správně zařadit do kategorie.

Pro zájmové čerpadlo jsou mezní hodnoty v tabulce dle normy ČSN ISO 10816-3 pro čerpadla s vícelopátkovým oběžným kolem, odděleným pohonem se jmenovitým výkonem nad 15 kW a pružným uložením.

**Tabulka 5: Mezní hranice pásem**

Třída uložení	Hranice pásma	Efektivní hodnota rychlosti $\text{mm.s}^{-1}$
Pružné	A/B	3,5
	B/C	7,1
	C/D	11

## **II. Změna velikosti vibrací**

Při posuzování tohoto kritéria se nastaví referenční hodnoty, které odpovídají ustáleným provozním podmínkám správně fungujícího stroje. Sledují se změny vibrací a když nepřekročí pásmo C podle kritéria I, tak náhlá změna těchto vibrací si může vyžádat hledání příčiny, aby se zamezilo pozdějšímu poškození. Změny vibrací se mohou projevat skokově nebo postupně.

Hodnocení stroje podle II. Kritéria si vyžaduje dlouhodobější sledování vibrací. Postup se skládá ze dvou fází:

1. Trvalé sledování stroje označované jako monitorování, aby bylo možno zachytit okamžik a velikost změny vibrací, který dává znát, že se vyskytla závada, tzv. detekování závady.
2. Analýza měření, která určí příčinu změny vibrace a tím odhalí závadu.

Pro monitorování se používají trendy, které zaznamenávají vývoj měřené veličiny v čase. Vyskytují se čtyři trendy:

A – trvale dobrý stav bez závady

B – náhlá změna a to jak zvýšení vibrací tak snížení

C – postupné poškozování

D – nesmyslný trend

### **Stanovení provozních mezí vibrací**

Při překročení meze vibrací se vyhláší poplachové stavy. Pokud bylo dosaženo definované hodnoty informující o změně, při které stroj může pracovat do učinění nápravy,

jedná se o stav výstrahy. Pokud je dosaženo mezní hodnoty, která může poškodit stroj a musí se učinit okamžitá náprava nebo stroj vypnout, jedná se o stav přerušení provozu.

Dle doporučení se stanoví meze pro výstrahu z referenční hodnoty zaběhnutého stroje a připočte se 0,25 hodnoty hranice pásem B/C (viz. Tabulka 3).

### **Analýza vibrací**

Pokud hodnocení celkových vibrací informuje o vzniku poruchy, je vhodné provést frekvenční analýzu. Frekvenční analýza se provádí rozkladem nosné vlny na jednotlivé frekvenční složky pomocí Fourierovy transformace. Aby bylo možno správně analyzovat frekvenční spektru, je potřeba znát základní technické údaje stroje, jako jsou například výkon, provozní otáčky, typ ložiska, počty lopatek.

Postup měření se provádí tak, že se zjistí otáčky rotoru a určí se otáčková frekvence jako výchozí hodnota. Dále podle konstrukce jednotlivých částí čerpadla se pomocí násobků otáčkové frekvence a jejich amplitudy určí, kde se závada projevuje.

### **Frekvence zdrojů vibrací:**

- Otáčková frekvence

$$f_o = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad [4.1]$$

- Lopatková frekvence oběžného kola

$$f_L = f_o \cdot i \quad [4.2]$$

- Frekvence nevyváženosti – velká amplituda  $1 \times f_o$

- Ložisková frekvence

BPFI – závada na vnitřním kroužku

$$BPFI = \frac{n}{2} \cdot \left( 1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad [4.3]$$

BPFO - závada na vnějším kroužku

$$BPFO = \frac{n}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi\right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad [4.4]$$

BSF – závada na valivém tělísku

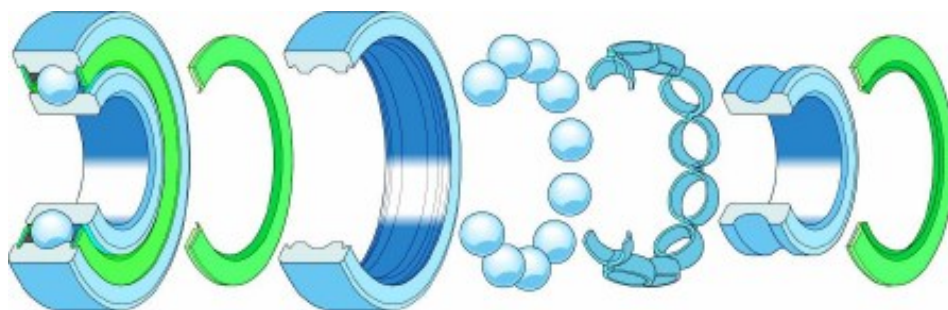
$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi\right)^2\right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad [4.5]$$

FTF – závada na kleci

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi\right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad [4.6]$$

kde:

n	počet valivých elementů	[-]
B <sub>d</sub>	průměr valivého elementu	[mm]
P <sub>d</sub>	střední průměr	[mm]
φ	kontaktní úhel	[°]
RPM	otáčky hřídele	[min <sup>-1</sup> ]



**Obrázek 7: Komponenty valivého ložiska**

- Frekvence paralelní nesouososti – přítomnost 2x, která je větší než 1x
- Frekvence úhlové nesouososti – přítomnost na 1x a 2x
- Frekvence nesouosého ložiska – přítomnost na 1x a 2x

- Kavitační frekvence – frekvenční pásma jsou podobná ložiskovým
- Frekvence mechanického uvolnění – jsou výrazné  $1x$ ,  $2x$ ,  $1/2x$  a  $1/3x$
- Frekvence přidírání rotoru - objevují se řady harmonických složek, interharmonické složky ( $1,5x$ ,  $2,5x$ ), dále subsynchronní složky ( $1/2x$ ,  $1/3x$ ) a také rezonanční frekvence rotoru i statoru

### **Příčná trhlina v rotoru a její detekce**

Důsledkem konstrukčních, materiálových či výrobních vad se mohou již v ranném stádiu života stroje objevit praskliny na rotorech odstředivých čerpadel. Také mohou být důsledkem dlouhodobého provozu, za nepřípustného radiálního zatížení rotoru, protiběžné precese rotoru, či korozního narušení.

Detekce je založena na dvou příznacích:

1. Změna fáze a amplitudy  $1x$  složky vibrací, způsobená průhybem rotoru a asymetrickou příčnou trhlinou.
2. Změna velikosti vektoru vibrací filtrovaných na  $2x$  násobek otáčkové frekvence a její nárůst, zejména při přechodu kritik.

Dále je detekce zaměřena na měření hřídelových vibrací.

### **Uvolnění**

Mezi klasické závady čerpadel patří:

- uvolnění mezi ložiskem
- uvolnění mezi ložiskovým stojanem
- uvolnění mezi základy

Uvolnění stacionárních částí způsobuje nárůst zejména na  $1x$  otáčkové frekvence dané nárůstem poddajnosti soustavy. Může být spojen s výrazným snížením frekvence rezonančních oblastí. V případě uvolnění, které je periodického charakteru, dochází ke snížení tuhosti soustavy. Dle pásma rychlosti otáček (ve vztahu k rezonanci rotoru) se vibrace projevuje:



- zvýšením synchronní odezvy
- typickými zlomky  $1/2x$  a  $1/3x$

Výrobou, či opotřebením mohou vznikat velké vůle ložisek. Základem diagnostiky je sledování orbitu z relativních snímačů X – Y na ložisku a dále pak na sledování statické polohy hřídele.

## 4.2 Použití měření teploty

Čerpadlo je vybaveno přístroji na měření teploty ložisek. Je potřeba pravidelně odečítat hodnoty, evidovat je a sledovat odchylky od běžných hodnot.

Pro odhalení nesouososti hřídelů je možno použít termovizní snímek, kde se zobrazí velké vyzařování tepelné energie na spojce.

K dispozici je také měření pomocí pyrometrů. Jsou to bezdotykové měřicí přístroje, které jsou schopny změřit teplotu na rotujících částech a jsou mnohem levnější termovizní kamery. Pyrometry se nejčastěji dělí podle spektrální oblasti využitelného záření na:

- spektrální (jasové, monochromatické) – využívají tepelného záření při jedné vlnové délce (většinou  $0,25\ \mu\text{m}$ )
- pásmové – využívá tepelné záření v úzkém pásmu vlnových délek
- spektrálního rozložení (barvové) – využívá tepelného záření ve dvou vlnových délkách
- celkové záření (radiační) – využívá tepelného záření v celém rozsahu vlnových délek

## 4.3 Použití tribodiagnostiky

Interval výměny oleje by se neměl provádět periodicky, aniž by se prováděla kontrola jeho stavu. Stav oleje vypovídá o stavu mazané součásti. Pokud se v oleji najdou pevné částice, tak to může být známka opotřebování nebo vniknutí nečistot do mazacího prostoru. Dále se u oleje kontroluje míra degradace, která má za následek snížení užitečných vlastností oleje. Například snížení viskozity má za následek tvoření nedostatečného mazacího filmu a

zvýšené opotřebení součástí vlivem většího tření. Obsah vody zase způsobí korozi a urychlí stárnutí oleje. Také je potřeba kontrolovat číslo kyselosti.

Pro jednoduchou kontrolu se sleduje množství oleje, barva a vzhled. Olej by neměl ubývat a jeho vzhled měl být čirý, bez úsad a neměl by zapáchat. Pokud se olej ztrácí, může to indikovat poškození těsnících kroužků a je potřeba provést jejich výměnu. Oleje by nemělo být více, než je předepsáno, protože to může být také příčinou poškození gufer.

Pro podrobnější kontrolu se provádí odebrání vzorku oleje a posílání na rozbor. Výsledky se analyzují a archivují. Ze zkušenosti bývá zvykem, že tyto rozbory se pouze ukládají a neanalyzují a tím ztrácejí na významu.

## 5 Provedení provozního měření

Provádění pravidelných měření umožní sledování změn v čase a včas upozorní na vznikající závadu. Zkoušky hydraulických strojů probíhají na modelu nebo na konkrétním místě určení, aby se zjistily uvedené parametry a určily se kavitační hodnoty. Zkoušky se provádí jako přejímací, kontrolní (garanční), provozní a diagnostické.

### Měření výkonových parametrů

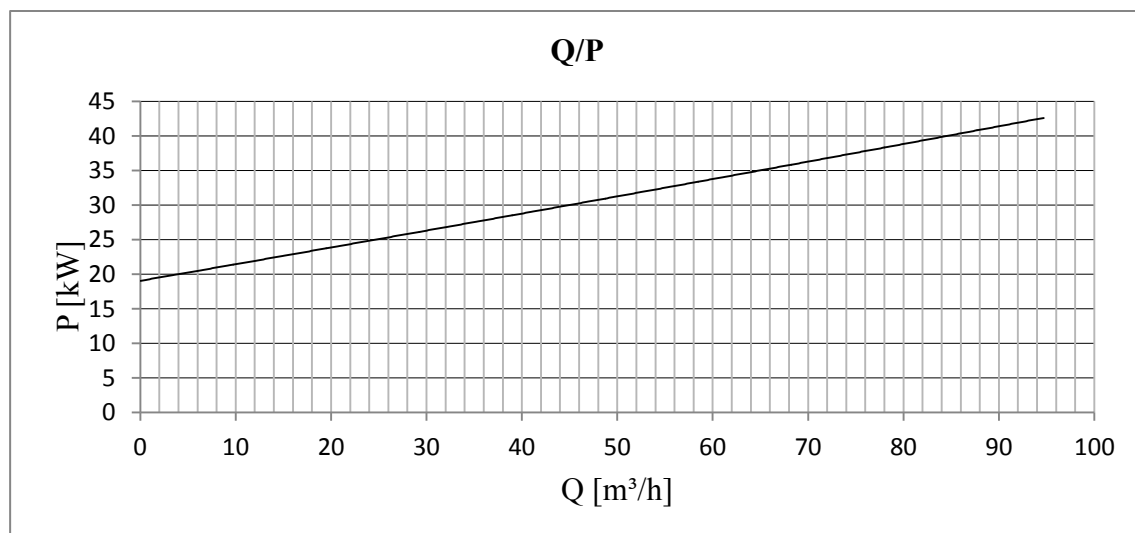
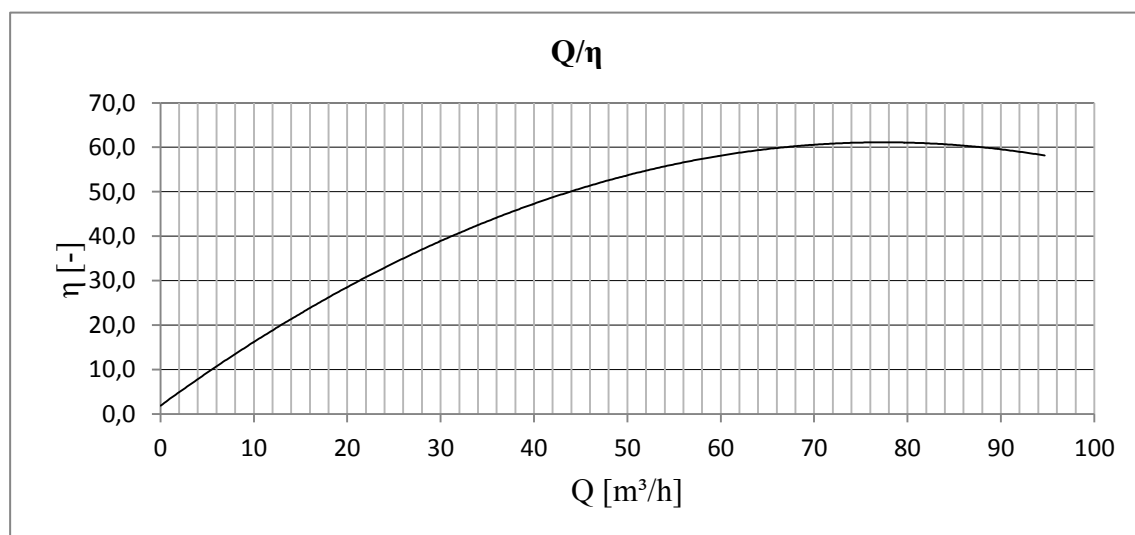
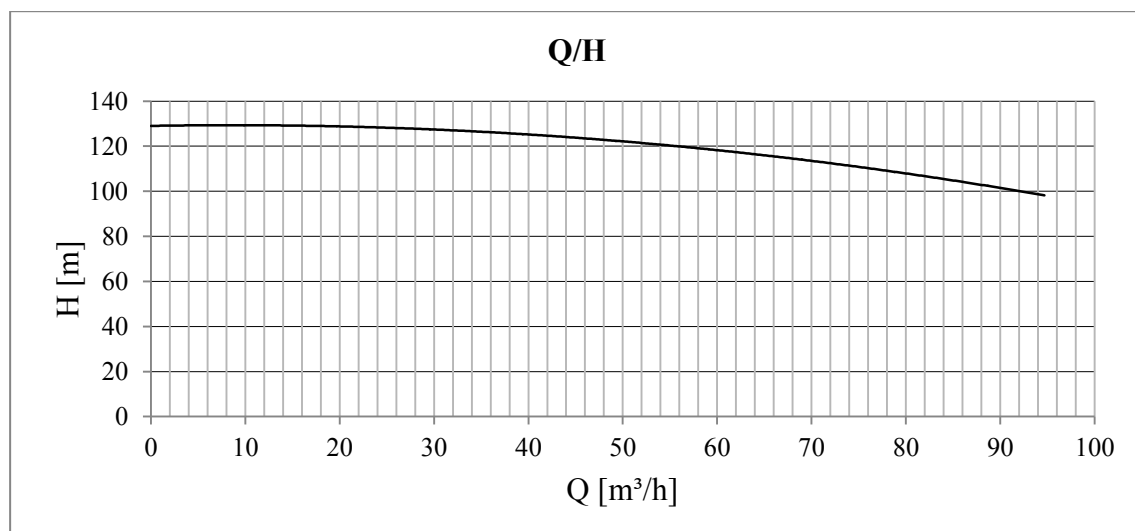
Měření proběhlo s těmito parametry:

Teplota kapaliny  $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

Měrná hmotnost kapaliny  $\rho = 997\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

**Tabulka 6: Naměřené hodnoty**

i [-]	Q [m <sup>3</sup> /h]	H [m]	P [kW]	$\eta_{\text{č}}$ [%]
1	0	132,4	19,5	0,0
2	7,6	126,6	21,6	12,1
3	15,1	127,1	22,2	23,6
4	20,9	128,8	23,4	31,3
5	31	127,4	25,5	42,1
6	37,4	126,2	27,9	46,1
7	42,8	124,7	29,4	49,5
8	51,1	121,5	31,8	53,2
9	59,8	118,6	33,6	57,5
10	68,4	114,4	36,7	58,1
11	73,4	113,3	38,1	59,5
12	81,7	107,4	39,4	60,7
13	87,8	102,1	40,8	59,9
14	94,7	97,5	41,6	60,5
15	75,5	111,6	38,7	58,6



**Obrázek 8: Grafy z naměřených hodnot**

## Měření vibrací

V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty teploty a vibrací ve třech směrech na jednotlivých ložiskách.

**Tabulka 7: Naměřené hodnoty vibrací a teploty**

	1. ložisko	2. ložisko	3. ložisko	Max hodnota
V	2,0	1,9	1,9	2,0
H	1,9	1,7	1,8	1,9
A	2,0	1,9	2,1	2,1
t	35	36	35	36

Naměřené hodnoty se porovnávají podle normy, ve které velikost naměřených vibrací určuje, že čerpadlo spadá do pásma A (do 3,5) a tudíž lze předpokládat, že stroj je v pořádku a může bez nějakých zásahů dále pracovat.

Naměřené hodnoty na zaběhnutém stroji jsou referenční pro určování výstrahy a poplachu. Je nutné měření opakovat na stejných měřicích místech, aby nedocházelo ke zkreslení údajů. V tuto chvíli není potřeba provádět analýzu frekvenčního spektra. Zařízení pro analýzu je drahé, takže se může provádět až při zjištění náhlé změny celkových vibrací. Analýzu může provádět externí firma nebo dodavatel čerpadla.

## **6 Návrh systému údržby**

Údržba zahrnuje veškeré administrativní, managerské a technické činnosti v průběhu životního cyklu udržovaného objektu, jejichž cílem je udržení, či navrácení objektu do stavu, ve kterém může nadále vykonávat danou funkci.

Pro čerpadlo 100-CVZ-325-14/4 by měl být dobře zajištěný systém údržby, protože pořizovací náklady a náklady na opravy a náhradní díly nejsou zanedbatelné. Dále také neplánovaný výpadek stroje je nežádoucí, proto je nutné pravidelně provádět kontroly, měření, analýzy a archivace dat. Tyto data by měly obsahovat záznamy kontrol, měření, oprav a podobně. Výsledky měření je potřeba analyzovat, dále predikovat zbývající dobu do provedení oprav a odstraňovat příčiny vzniku poruch.

Pro aktuální informace o stavu čerpadla navrhuji pravidelné monitorování určených parametrů a určení výstražných hodnot.

Provádění úkonů údržby má napomoci udržovat provozuschopný stav. Tyto mají různé intervaly provádění a dané postupy při zjištění nedostatků.

### **Vizuální kontrola**

Při vizuální kontrole se sleduje nejdříve stroj jako celek a potom se přistoupí ke kontrole jednotlivých částí. Je potřeba sledovat průsak přes ucpávky, který by měl být v souladu s předepsanými hodnotami. Také je potřeba sledovat těsnost připojení potrubí. Součástí vizuální prohlídky je sledování nadměrných a nezvyklých vibrací. Postup vizuální kontroly zahrnuje i kontrolu upevnění všech šroubových spojů.

### **Kontrola poslechem**

Sledují se akustické změny v chodu čerpadla, které mohou odhalit například kavitaci, přítomnost cizího předmětu nebo uvolnění oběžných kol.

### **Kontrola tlaku**

Čerpadlo je vybaveno přístrojem na měření tlaku, takže je potřeba při obchůzkách sledovat hodnoty, zaznamenávat a v případě nežádoucí změny tlaku provést podrobnější měření vibračním přístrojem.

### **Kontrola teploty ložisek**

Zvýšená teplota ložiska může znamenat zvýšení namáhání vlivem například nevyváhy a nesouososti. Také to může být následkem degradace oleje nebo jeho ztrátou. U popisovaného čerpadla může být příčinou závada v chlazení ložisek.

### **Měření celkových vibrací**

Provádí se na všech ložiskách a ve všech směrech. Naměřené hodnoty se zapisují a provádí se porovnání s předchozími měřeními. Sleduje se jak zvýšení vibrací tak snížení. V případě náhlé změny vibrací se přistoupí k analýze frekvenčního spektra pro lokalizování zdroje vibrací.

### **Kontrola oleje**

Při jednoduché kontrole se sleduje množství, barva a vzhled. Olej se nesmí ztrácet, má mít čistou barvu a neměl by zapáchat. Při ztrátě oleje nebo vniknutí nečistot se zkracuje doba životnosti ložiska a začne vykazovat zvýšenou teplotu.

### **Analýza oleje**

Pro podrobnější analýzu se provádí rozbor na zjištění viskozity, obsahu vody a kyselosti. Toto zkoušení je dáno normou ČSN 65 6231 a ČSN 65 6070. Pokud je rozbořem zjištěno, že parametry oleje neodpovídají požadavkům je potřeba zjistit příčinu a olej vyměnit.

Děle výsledky z prohlídek a kontrol analyzovat a určovat příčiny. Příčiny vzniku poruch je potřeba co nejdříve odstraňovat a tím zvyšovat spolehlivost stroje.

## Použití přístrojů

Pro zajištění kvalitní údržby je potřeba mít několik základních přístrojů. Přístroje si může provozovatel zařízení pořídit, nebo může využívat služeb externích firem (tzv. outsourcingu). Pro přehlednou archivaci je vhodné používat SW, kde se budou ukládat záznamy týkající se celé doby provozu stroje.

### Přístroj k měření vibrací

Je to základní pomůcka, která poskytuje cenné informace o stavu stroje. Na trhu jsou již přístroje s pořizovací cenou cca 12 000 Kč. Tyto přístroje mají magnetický snímač, se kterým mohou měřit vibrace od 10 Hz do 1000 Hz. Vibrační pera neposkytují takovou přesnost měření, protože jsou náchylná na správné přitlačení k měřicímu místu.



**Obrázek 9: Ukázka přístroje pro měření vibrací**

Pro provádění frekvenční analýzy jsou přístroje podstatně dražší, takže je potřeba důkladně zhodnotit návratnost investice do takového přístroje. Nicméně na odhalení některých závad je nutný.



### **Přístroj na měření teploty**

Na trhu je spousta druhů teploměrů za příznivé ceny, takže by to měl být nepostradatelný pomocník při údržbě. Je vhodné mít pořízený bezdotykový měřič teploty, kterým je možné měřit teplotu na rotujících částech a odhalit tak například na spojce nesouosost hřídelů.

### **Elektronický stetoskop**

Pomocí stetoskopu, sluchátek a sondy je možno s určitou zkušeností odhalit přidírání hřídele v ucpávce, opotřebení ložiska a jiné.

### **Ustavovací přístroj**

Pro přesné a rychlé ustavení čerpadla a elektromotoru je možné použít laserový ustavovací přístroj. Pořizovací cena těchto přístrojů bývá přes 100 000 Kč

### **Analyzátor oleje**

Pořizovací cena je cca 40 000 Kč. Umožňuje analýzu kinematické viskozity, kyselosti, obsahu vody a celkového znečištění.



**Obrázek 10: Výbava pro analyzování oleje**

## 7 Závěr

Systémy diagnostiky a údržby jsou dnes velmi propracované a používají se již u nich běžně informační technologie, které jsou schopny pojmout celou náročnost organizování údržby. Je možné přes tyto technologie provádět měření na dálku bez obsluhy externí firmou a provádění potřebných analýz. Některé čerpadla se vyrábějí se zabudovaným zařízením pro on-line měření hodnot. Vždy záleží na složitosti stroje a nákladů vynaložených na jeho provoz a opravy.

Správně zvoleným systémem diagnostiky a údržby čerpadel se zajistí dlouhodobý bezporuchový provoz. Dále bude možné zamezit nežádoucím prostojům, kterým se vyhneme naplánováním výměn opotřebovaných dílů na vhodnou dobu. K tomuto je potřeba správně predikovat zbývající čas konkrétních součástí čerpadla. Díky plánování termínu výměny dílu je možno na stanovenou chvíli připravit všechny potřebné přípravky, nářadí, montážní postupy a náhradní díly.

Výhodou oproti stávajícímu systému je zajištění lepšího přístupu ke zjištěným informacím a provádění predikce, popřípadě proaktivního přístupu namísto shromažďování materiálů z provedených měření a kontrol, které se budou bezúčelně archivovat.

Počáteční náklady pro provádění efektivní údržby se na první pohled mohou zdát vysoké, ale po předběžné kalkulaci a následně po samotném provozu stroje se dospěje k závěru, že vynaložené náklady mají zaručený efekt ve snížení provozních nákladů

## Použitá literatura

- [1] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D., *Technická diagnostika a spolehlivost I. Tribodiagnostika*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 158 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [2] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. VŠB-TU Ostrava, 2005. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [3] HRABEC, L., HELEBRANT, F., MAZALOVÁ, J., *Technická diagnostika a spolehlivost III. Ustavování strojů*. VŠB-TU Ostrava, 2007. 91 s. ISBN 978-80-248-1449-0.
- [4] HELEBRANT, F., *Technická diagnostika a spolehlivost IV. Provoz a údržba strojů*. VŠB-TU Ostrava, 2008. 130 s. 978-80-248-1690-6.
- [5] HELEBRANT, F., MONI, V., BLATA, J., *STUDIJNÍ PODKLADY - TERMOGRAFIE*. VŠB-TU Ostrava, 2010. 69 s.
- [6] BILOŠ, J., BILOŠOVÁ, A., *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: část Vibrační diagnostika*. VŠB-TU Ostrava, 2012. 142 s. Studijní opora..
- [7] MELICHAR, J., BLÁHA, J., *Problematika soudobé čerpací techniky-Vybrané partie*. Nakladatelství ČVUT-výroba, 2007. 265 s. ISBN 978-80-01-03719-5.
- [8] KREIDL, M. a kol., *Diagnosticke systémy*. Vydavatelství ČVUT, 2001. 352 s. ISBN 80-01-02349-4.
- [9] ČSN ISO 10816-1:98 *Vibrace. Hodnocení vibrací strojů měřených na nerotujících částech*.
- Část I: Všeobecné směrnice*
- [10] ČSN ISO 10816-3:99 *Vibrace. Hodnocení vibrací strojů měřených na nerotujících částech*.
- Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 min<sup>-1</sup> a 15 000 min<sup>-1</sup> při měření in situ.*
- [11] SIGMA Groups, a.s., *Návod k obsluze – provoní a montážní předpisy*. Olomouc, 2010, 35 s.

## **8 Přílohy**

**Příloha č. 1      Přehled úkonů kontroly, jejich interval a reakce na zjištěné závady**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání bakalářské práce

Student: **Dalibor Osmančík**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Specializace: 70 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: **Systém diagnostiky a údržby čerpadel**  
**The System of Diagnostics and Maintenance for Pumps**

### Zásady pro vypracování:

Technická diagnostika je jedním z klíčových nástrojů zajištění údržby jako takové ve smyslu objektivního zjišťování technického stavu provozovaného objektu. V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky v obecné rovině.
  2. Ideově technický návrh řešení včetně metodického postupu implementace.
  3. Aplikace na podmínky vybraného objektu.
  4. Vyhodnocení přínosů ve srovnání se stávajícím řešením.
- Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracování.

### Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – II. Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava 2004, I. Vydání, 178 s., ISBN 80–248–0650–9  
KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1. vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6  
KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4  
TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011  
Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012 .....

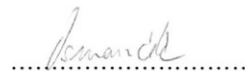
Krnanek .....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užití (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012



podpis

Dalibor Osmančík

Bernartice č. 73

790 57